第 38 卷第 3 期 生 态 学 报 Vol.38,No.3
2018 年 2 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201611282434
宋理洪,王可洪,闫修民.基于 Meta 分析的中国西南喀斯特地区土壤动物群落特征研究.生态学报,2018,38(3):984-990.
Song L H, Wang K H, Yan X M.Characteristics of soil fauna communities in the Karst region, Southwest China, based on meta-analysis.Acta Ecologica Sinica,2018,38(3):984-990.

基于 Meta 分析的中国西南喀斯特地区土壤动物群落特征研究

宋理洪[1],王可洪[2],闫修民[3,*]
1 贵州大学,农学院,贵阳 550025
2 重庆大学,资源及环境科学学院,重庆 400044
3 贵州师范学院,地理与旅游学院,贵阳 550018

摘要:我国西南喀斯特地区环境容量小、生态系统变异敏感度高、灾变承受能力低,是典型的生态环境脆弱区。土壤动物是陆地生态系统的重要组成部分,对生态系统功能和稳定性具有重要的意义。通过 Meta 分析研究西南喀斯特地区土壤动物群落特征,得到如下结果:本区域土壤动物隶属于 5 门 15 纲 31 类;中小型土壤动物平均密度 6.0×10^3—1.9×10^4 m^{-2};中小型土壤动物密度和类群数表现为夏秋高、冬春低,土壤动物表聚性明显;喀斯特石漠化显著降低中小型土壤动物的密度和类群数量。本研究的结果表明,我国西南喀斯特地区土壤动物类群数量较为丰富,个体密度较低但可能被低估。在今后喀斯特地区生物多样性保护和脆弱生态系统的恢复工作中,应注重土壤动物群落的相关研究。

关键词:喀斯特;土壤动物;群落特征;Meta 分析;石漠化

Characteristics of soil fauna communities in the Karst region, Southwest China, based on meta-analysis

SONG Lihong[1], WANG Kehong[2], YAN Xiumin[3,*]
1 *College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang* 550025, *China*
2 *College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing* 400044, *China*
3 *School of Geography and Tourism, Guizhou Education University, Guiyang* 550018, *China*

Abstract: The karst area in Southwestern China is regarded as one of the most vulnerable ecological zones, characterized by low environmental capacity, high sensitivity of environmental variation, and low resilience of ecosystems to catastrophic variations. Soil fauna are important components of terrestrial ecosystems and play significant roles in maintaining the functions and stability of ecosystems. Based on meta-analysis, the present study evaluated the community characteristics of soil fauna in the Karst region, Southwest China, by analyzing the soil fauna species composition, their vertical distribution, and the influence of rocky desertification on soil fauna density and group numbers. Publications related to studies of soil fauna ecology studies carried out in the Karst region of Southwest China, which were published between January 1, 1990 to October 31, 2016, were retrieved from the Web of Science and China Knowledge Resource Integrated Database (CNKI) by using key words of soil fauna, soil animal, soil invertebrates, soil micro-arthropods, and karst both in Chinese and English. A total of 34 publications were selected for meta-analysis after literature filtering and quality evaluation. Results of meta-analysis, using R langue for statistical analysis, showed that soil fauna belonged to 5 phyla, 15 classes, and 31 groups

基金项目:贵州省教育厅项目(黔教合 KY 字【2016】001)
收稿日期:2016-11-28; **网络出版日期**:2017-10-18
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: yanxiumin1982@hotmail.com

(classes or orders) in the Karst region of Southwest China. Soil macro-fauna were dominated by Hymenoptera and Coleoptera. Soil micro-fauna and soil meso-fauna were dominated by soil mites and collembolan. The density of soil micro-fauna and meso-fauna ranged from 6.0×10^3 to 1.9×10^4 individuals m^{-2}. Soil fauna density and group numbers in summer and autumn were significantly higher than those in winter and spring. Rocky desertification in the Karst region, Southwest China, significantly decreased soil fauna density ($P < 0.01$, MD = −7799.6, 95% CI: −10822.24 — −4776.99) and group numbers ($P < 0.01$, MD = −1.9, 95% CI: −2.89 — −1.09). Soil fauna individuals significantly decreased with soil depth ($P < 0.01$, MD = −23.4, 95% CI: −0.31 — −0.16), showing an obvious phenomenon of soil surface layer accumulation. These results indicate that soil fauna group numbers were high, while the density was low. Nevertheless, soil fauna density was possibly underestimated because of the lack of soil nematodes data in most of the retrieved original publications. Because of the importance of soil fauna in ecosystems, greater attention should be paid to the soil fauna communities and their ecological functions, especially for biodiversity protection and the recovery of vulnerable ecosystems in the Karst region, Southwest China.

Key Words: karst; soil fauna; community characteristic; meta-analysis; rocky desertification

土壤动物是陆地生态系统的重要组成部分,其种类多、数量大、分布广[1]。土壤动物与生物因子和非生物因子之间的相互作用,在维持陆地生态系统物质循环和能量流动环节中起着重要的作用[2-3]。土壤动物作为地下食物网的重要组成部分,调控凋落物分解、改变土壤微环境、影响土壤微生物群落[4-5],并在凋落物的分解和养分释放中起促进作用[6-8]。在全球尺度,土壤动物可以促进 35%以上凋落物的分解,影响全球碳氮循环[9]。土壤动物群落组成和功能类群的变化是生态系统功能的重要驱动因子[10]。

我国西南地区是世界最大、最集中连片的喀斯特地区,同时也是石漠化最严重的地区。具有地表崎岖破碎、山多坡陡、土层浅薄、土壤贫瘠、旱涝灾害频发、生态环境稳定性差、敏感性高、抗承灾能力弱、易遭破坏而难于恢复的特点[11]。喀斯特地区植被的破坏和生境的退化等均会对土壤动物群落产生一定的影响,同时土壤动物群落的变化也会影响土壤理化性质及小生境的改变[12-13]。土壤动物群落作为陆生生态系统的重要组成部分,在喀斯特地区生态恢复工作中应给予充分的重视。为了全面评估喀斯特地区土壤动物群落特征,本文在总结以往研究工作的基础上,通过与其他地区的类比,总结了西南喀斯特地区土壤动物群落特征,以期为喀斯特石漠化地区脆弱生态环境生物多样性的保护、喀斯特生态系统的恢复与综合防治提供基础材料。

由于喀斯特地区的植被退化,人类活动干扰强度增加,生境受到一定程度的破坏。本文提出如下假设:1)西南喀斯特地区土壤动物类群数量少,个体密度低;2)喀斯特石漠化将降低其物种数量和个体密度。

1　材料和方法

1.1　数据的获取

以"soil fauna/ microarthropods/ soil organisms/ soil animal/ Karst/ China"和"土壤动物、喀斯特"为关键词,不设时间限制(最后一次检索时间 2016 年 10 月 10 日),分别在 Web of Science 和中国知网数据库中检索已发表我国喀斯特土壤动物研究的相关论文。检索得到 48 篇文献,剔除研究对象为非土壤动物的文献,共计得到 34 篇。原始文献图中数据使用 GetData 软件获取,表中数据直接读取。

1.2　数据处理

因为不同论文中使用的分类级别不统一,绝大部分到纲或目,少数到属,所以本文依据《中国土壤动物检索图鉴》[14]将原始数据从新归类整理,统一到纲或目。文献中的研究方法包括手捡法、陷阱法和干/湿漏斗分离法等,研究将所获取数据分为大型土壤动物和中小型土壤动物分开研究。由于大型土壤动物使用的手捡法和陷阱法定量标准不统一,因此本文仅分析其群落组成。对于中小型土壤动物,根据其取样面积,将原始数据转换为密度(m^{-2}),以便进行不同研究之间的对比。

根据 Meta 分析的要求,提取、整理并分析数据,建立数据库。由于不同研究之间土壤动物垂直分布的个体数量表现形式不一致,统一将其分作 0—5cm 和 5cm 以下两层统计,并使用每层占总体的百分比统计平均值和标准差。根据文献中对样地描述,将土壤动物的生境划分为石漠化和非石漠化两级,并分别统计两种生境中土壤动物的个体密度和物种数。使用研究间变异占总变异的百分比(I^2)作为研究结果异质性的检验指标。当 $I^2<0.25$ 时,采用固定效应模型对结果进行合并;当 $0.25<I^2<0.5$ 时,采用随机效应模型进行合并;当 $I^2>0.5$ 时,需要核对数据或者进行亚组分析或 Meta 回归分析。最后,采用漏斗图法和 Begg 法对 Meta 分析结果进行偏倚评估。

使用 R 软件"Meta"和"Vegan"等程序包进行相关的统计分析及作图,显著性水平 $\alpha=0.05$。

2 结果

2.1 物种组成

结果显示,我国西南喀斯特地区土壤动物共计 5 门 15 纲 31 类(表 1)。大型土壤动物优势类群为膜翅目(39%)和鞘翅目(14%),常见类群 14 类占总体的 42.5%。螨类(42%)和跳虫(20%)为中小型土壤动物的优势类群,常见类群 9 类占总体的 32.8%,其中土壤线虫仅占总体的 2.3%。

表 1 土壤动物群落组成

Table 1 Soil fauna community composition

类群 Group	丰度 Abundance/%		类群 Group	丰度 Abundance/%	
	大型土壤动物 Macro-fauna	中小型土壤动物 Micro/meso-fauna		大型土壤动物 Macro-fauna	中小型土壤动物 Micro/meso-fauna
扁形动物门 PLATHELMINTHES			唇足纲 Chilopoda	3±3	0.4±0
涡虫纲 Turbellaria	—	0.0±0	综合纲 Symphyla	0.3±0	0.3±0
线虫动物门 NEMATA			蠋蜒纲 Pauropoda	—	8.8±18
线虫 Nematode	0.0±0	2.3±4	原尾纲 Protura	0.0±0	0.1±0
环节动物门 ANNELIDA			弹尾纲 Collembola	0.9±0	20.2±9 *
寡毛纲 Oligochaeta	5±7	2.1±2	双尾纲 Diplura	0.1±0	1.2±1
蛭纲 Hirudinea	—	0.0±0	昆虫纲 Insecta		
软体动物门 MOLLUSCA			膜翅目 Hymenoptera	39±22 *	7.4±5
腹足纲 Gastropoda	4.4±4	0.3±0	鞘翅目 Coleoptera	13.7±8 *	4.6±3
节肢动物门 ARTHROPODA			双翅目 Diptera	1.5±1	3.7±5
蛛形纲 Arachnida			半翅目 Hemiptera	2.8±2	1.3±1
螨类 Mites	2.2±3	41.6±17 *	缨翅目 Thysanoptera	1.7±4	0.8±2
蜘蛛目 Araneae	6.2±5	1.4±2	鳞翅目 Lepidoptera	1.7±2	0.4±0
盲蛛目 Opiliones	0.3±0	0.2±0	啮目 Psocoptera	—	0.4±1
伪蝎目 Pseudoscorpiones	0.0±0	0.1±0	直翅目 Orthoptera	9±12	0.2±0
蝎目 Scorpiones	—	0.0±0	等翅目 Isoptera	1±1	0.2±0
裂盾目 Schizomida	—	0.0±0	蜚蠊目 Blattoptera	1.8±1	0.1±0
软甲纲 Malacostraca			革翅目 Deramptera	0.8±1	0.1±0
等足目 Isopoda	1.6±2	0.1±0	石蛃目 Microcoryphia	0.2±0	0.0±0
倍足纲 Diplopod	1.6±1	0.3±0			

大型土壤动物采集方法 H/X, 中小型土壤动物采集方法 T/TB/HT/HTB。其中:H, 手捡法 (Hand picking); X, 陷阱法 (Pitfall trap); T,干漏斗分离 (Tullgren funnels); B, 湿漏斗分离 (Baermann funnels)。* 表示该物种为优势类群,"—"表示无数据

2.2 季节分布特征

喀斯特中小型土壤动物具有明显的季节分布特征(图 1)。夏季个体数量最多(16035 m^{-2}),显著大于冬季(7270 m^{-2})($P<0.05$),其他季节间中小型土壤动物密度的差异不显著,但总体上表现出夏秋大于春冬的趋

势。不同季节间,中小型土壤动物物种数量(12—19 个类群)的差异未达到显著水平($P>0.05$);但同密度一样,类群数量也表现为夏秋大于春冬的趋势。

2.3　垂直分布特征

喀斯特土壤动物数量随土壤深度增加而降低,0—5cm 土层中小型土壤动物个体数量占总体的 61.5%,5cm 以下中小型土壤动物个体数量占总体的 38.5%,表现出明显的表聚性($P<0.05$),平均差异值(MD)为 −0.23(95%CI: −0.31—−0.16, $P<0.01$)(表 2)。Begg 法检验漏斗图的对称性结果显示,漏斗图对称性较好($P>0.05$),说明入选文献的发表偏倚小(表 3)。

2.4　石漠化对土壤动物密度和类群数的影响

中小型土壤动物密度和类群数在无石漠化地区大于石漠化地区,两类地区中小型土壤动物密度分别为 16266.8 m^{-2} 和 8466.2 m^{-2},类群数分别为 12.9 个类群和 11.0 个类群。石漠化显著降低了中小型土壤动物的密度和物种数量($P<0.05$, $P<0.05$),石漠化地区和无石漠化地区中小型土壤动物的密度和物种数的平均差异值 MD 分别为−7799.6(95%CI: −10822.24—−4776.99, $P<0.01$)和−1.9(95%CI: −2.89—−1.09, $P<0.01$)(表 2)。Begg 法检验漏斗图的对称性结果显示,相关研究的漏斗图对称性好($P>0.05$),说明入选文献的发表偏倚较小(表 3)。

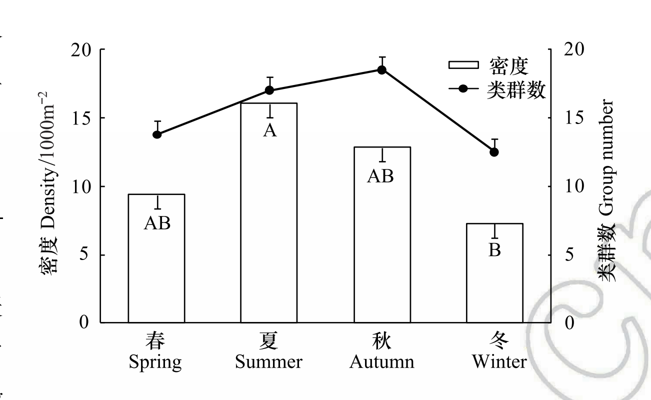


图 1　中国西南喀斯特土壤动物季节分布特征

Fig. 1　Seasonally distribution characteristics of soil fauna in Karst region of Southwest China

土壤动物密度和类群数量的单因素方差分析(ANOVA)结果分别为 df=3, f=3.1, P=0.05 和 df=3, f=1.9, P=0.18;不同字母 A—C 表示土壤动物密度在不同季节间存在显著差异;误差棒为标准误

表 2　中国西南喀斯特土壤动物群落特征的 Meta 分析结果

Table 2　Meta-analysis results of soil fauna community characteristics in Karst region of Southwest China

变量 Variables	分析模型 Analysis model	平均差异值 Mean Difference	95%置信区间 95%-CI	Z	P
垂直分布 Vertical distribution					
丰富 Abundance	随机效应模型	−23.4	−0.31—−0.16	−6.46	< 0.01
石漠化 Rocky desertification					
密度 Density	随机效应模型	−7799.6	−10822.24—−4776.99	−5.05	< 0.01
物种数 Group number	随机效应模型	−1.9	−2.89—−1.09	−4.33	< 0.01

表 3　中国西南喀斯特土壤动物群落特征 Begg 法检验漏斗图对称性的结果

Table 3　Begg test based funnel plot symmetryresults of soil fauna community characteristics in Karst region of Southwest China

变量 Variables	Z	P	变量 Variables	Z	P
垂直分布 Vertical distribution			石漠化 Rocky desertification		
丰富 Abundance	1.1706	0.24	密度 Density	−1.8303	0.07
			物种数 Group number	−0.6022	0.54

3　讨论

与本文提出的第一个假设相反,西南喀斯特地区土壤动物类群数(5 门 15 纲 31 目/类)较高,与我国东北、东部、西部等其他地区的物种类群数量相当(表 4)。本研究区域地形起伏多变,形成丰富的生态系统类型,包括森林、草地、湿地、湖泊以及溶洞等,进而产生了复杂多样的微小生境。已有研究表明生态系统越复杂,生物的多样性越高[15-16]。综上,虽然西南喀斯特地区是典型的生态环境脆弱区,但因其环境类型多样,生

境多样性高,因而土壤动物类群数量较为丰富。

表 4　不同地区土壤动物类群数和密度比较

Table 4　Comparison of soil fauna group number and density among different region

序号 No.	研究地区 Study sites	生态系统类型 Ecosystem types	研究方法[1] Study methods	密度 Density	类群数[2] Group number	参考文献 References
1	长白山	森林	HT	76.0	33	(李晓强, 2014)
2	长白山	林地/耕地	HT	71.2	18	(李红月, 2015)
3	小兴安岭	森林	HTB	45.8	46*	(张雪萍等,2000)
4	盐城市东台林场	森林	HT	23.3	27	(周丹燕等, 2015)
5	乐山	森林	HTB	63.1	32	(李艳红, 2012)
6	鼎湖山	森林	HTB	39.5	24	(廖崇惠等, 1997)
			HT	11.0	22	
7	天目山	森林	HT	34.7	20	(廖崇惠等, 1997)
			HTB	63.7	18	
8	衡山	森林	HT	10.6	16	(廖崇惠等, 1997)
9	武夷山	森林	T	41.6	25	(王绍军, 2009)
10	陕北	经果林	HTB	58.9	22	(刘长海, 2008)
11	三江平原	耕作区	TB	37.1	16	(邵春华, 2011)
		非耕作区	TB	47.6	18	
12	长江中下游	农田	TB	18.0	14	(朱永恒等, 2014)
13	上海	城市绿地	HTB	59.7	28	(王金凤, 2007)
14	松嫩平原	草地	HT	11.9	25	(宋博, 2008)
15	辽河平原	撂荒	T	15.4	9	(柯欣等, 2004)
		林地	T	7.8	10	
		旱田	T	8.1	8	
		水田	T	6.2	10	
16	松嫩平原	沙丘	HT	2.2	19	(辛未冬, 2011)

1: H:手捡法,Hand picking;T:干漏斗分离,Tullgren funnels;B:湿漏斗分离,Baermann funnels;2: 分类到目或亚目(*分类到科)

尽管类群数量高,但西南喀斯特地区中小型土壤动物的密度较低(6.0×10^3—1.9×10^4 m^{-2}),仅高于松嫩沙丘等地区,远远低于东北、东部和四川等地的森林、草地等生态系统的密度(表 4)。与其他地区文献中的研究对象相比,本区绝大部分的研究中没有包含土壤线虫的数据。而土壤线虫是土壤动物中密度较高的类群之一,其密度可高达 8.1×10^3—3.0×10^7 m^{-2}[17],因而本区域的土壤动物个体密度存在被低估的可能。

土壤动物季节动态分布受季节性降水、温度、湿度和植被等的差异而波动[18],不同地区土壤动物多样性的季节动态不同。例如,若尔盖高寒草甸的相关研究显示土壤动物的类群数和密度与气温和土壤温度呈负相关关系[19],而长白山丘陵地区土壤动物群落与土壤温度成正相关[20];杨效东等发现土壤动物的类群数、个体数和多样性在雨季最低[21],陕北枣林的研究结果显示土壤动物的密度与土壤含水量正相关[22]。在中温带和寒温带地区土壤动物密度在 7—9 月达到最高,而在亚热带地区一般于秋末冬初达到最高[22];在湿热同期的夏秋季节土壤动物群落数量和多样性都较高,而冬春季节相对较少[23]。本区域属于亚热带,雨热同季,土壤动物密度和类群数量均表现为夏秋高、冬春低,与区域温湿度的变化基本一致(图 2)。西南喀斯特地区土壤动物群落也受极端气候影响,如干旱降低其类群数,个体密度,多样性、优势度和丰富度指数等[24-25]。

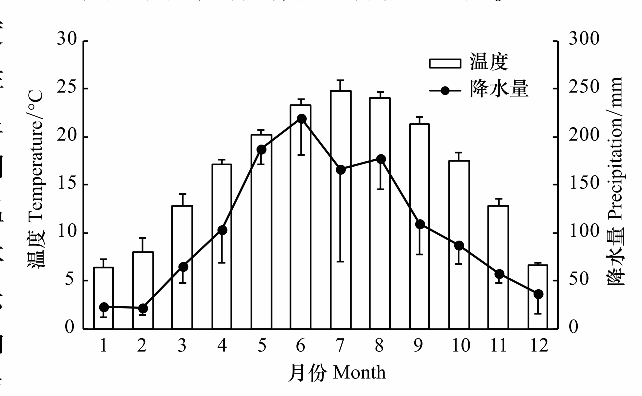


图 2　中国西南喀斯特地区温度降水统计图(2012—2016)

Fig.2　Meteorological characteristic (2012—2016) in the Karst region, Southwest China

误差棒为标准差

同其他地区的研究结果一致,喀斯特土壤动物的垂直分布具有明显的表聚性,个体密度和物种数量都表现为随土壤深度的增加而减少。这与土壤有机质含量,土壤孔隙度等土壤理化性质的垂直分布密切相关[26]。由于植物根系的作用,表层土壤相对疏松、孔隙度大、营养丰富,因而土壤动物分布较多[27]。土壤动物的垂直结构在不同类群、不同土壤环境产生一定的差异[28-29],受气候影响也会有季节波动[19,30],另外也会受自然灾害和外界干扰等的影响[31]。

土壤动物的水平分布受植被结构的复杂性、植被覆盖率、凋落物的质量影响。地上地下生态系统是协同进化的共同体,地上植被的改变会直接或间接影响土壤动物群落结构[32-33],随着生境退化(如盐碱化、沙漠化和石漠化等)土壤动物的密度、类群数量和群落均匀度呈现降低趋势[29, 34-36]。石漠化表现为系统结构破坏、植被覆盖度降低、土壤质量下降,使土壤动物栖息的生境条件恶化。喀斯特土壤动物的密度和类群数量均受人为干扰和自然条件影响,在林地和无石漠化地区较高,随石漠化强度增加而显著降低,与本文提出的第二个假设相符。生态恢复有助于土壤动物群落的恢复,土壤动物的类群数、个体密度和多样性均会随生态环境的改善而显著增加[37]。在喀斯特地区生物多样性保护和恢复工作中,还应注重土壤动物群落变化情况。

参考文献(References):

[1] Giller PS. The diversity of soil communities, the 'poor man's tropical rainforest'. Biodiversity and Conservation, 1996, 5(2): 135-168.

[2] Bardgett RD, Wardle DA. Aboveground-Belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change. Oxford: Oxford University Press, 2010.

[3] 邵元虎, 张卫信, 刘胜杰, 王晓丽, 傅声雷. 土壤动物多样性及其生态功能. 生态学报, 2015, 35(20): 6614-6625.

[4] Yang X D, Chen J. Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, southwestern China. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(5): 910-918.

[5] Liao S, Yang W Q, Tan Y, Peng Y, Li J, Tan B, Wu F Z. Soil fauna affects dissolved carbon and nitrogen in foliar litter in alpine forest and alpine meadow. PLoS One, 2015, 10(9): e0139099.

[6] Frouz J, Roubíčková A, Heděnec P, Tajovský K. Do soil fauna really hasten litter decomposition? A meta-analysis of enclosure studies. European Journal of Soil Biology, 2015, 68: 18-24.

[7] Li X Q, Yin X Q, Wang Z H, Fan W H. Litter mass loss and nutrient release influenced by soil fauna of *Betula ermanii* forest floor of the Changbai Mountains, China. Applied Soil Ecology, 2015, 95: 15-22.

[8] Tan B, Wu F Z, Yang W Q, Xu Z F, Zhang L, Liu Y. Soil fauna significantly contributes to litter decomposition at low temperatures in the alpine/subalpine forests. Polish Journal of Ecology, 2015, 63(3): 377-386.

[9] García-Palacios P, Maestre FT, Kattge J, Wall DH. Climate and litter quality differently modulate the effects of soil fauna on litter decomposition across biomes. Ecology Letters, 2013, 16(8): 1045-1053.

[10] Heemsbergen DA, Berg MP, Loreau M, Van Hal JR, Faber JH, Verhoef HA. Biodiversity effects on soil processes explained by interspecific functional dissimilarity. Science, 2004, 306(5698): 1019-1020.

[11] 彭晚霞, 王克林, 宋同清, 曾馥平, 王久荣. 喀斯特脆弱生态系统复合退化控制与重建模式. 生态学报, 2008, 28(2): 811-820.

[12] 樊云龙, 熊康宁, 苏孝良, 陈浒, 邹细霞. 喀斯特高原不同植被演替阶段土壤动物群落特征. 山地学报, 2010, 28(2): 226-233.

[13] 叶岳, 周运超. 喀斯特石漠化小生境对大型土壤动物群落结构的影响. 中国岩溶, 2009, 28(4): 413-418.

[14] 尹文英. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社, 1998.

[15] Moço M K S, Gama-Rodrigues E F, Gama-Rodrigues A C, Machado R C R, Baligar V C. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of bahia, brazil. Applied Soil Ecology, 2010, 46(3): 347-354.

[16] Zhu X Y, Gao B J, Yuan S L, Hu Y C. Community structure and seasonal variation of soil arthropods in the forest-steppe ecotone of the mountainous region in northern Hebei, China. Journal of Mountain Science, 2010, 7(2): 187-196.

[17] 邵元虎, 傅声雷. 试论土壤线虫多样性在生态系统中的作用. 生物多样性, 2007, 15(2): 116-123.

[18] MorónRíos A, Rodríguez M Á, PérezCamacho L, Rebollo S. Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a mediterranean old-field. European Journal of Soil Biology, 2010, 46(2): 91-96.

[19] 张洪芝, 吴鹏飞, 杨大星, 崔丽巍, 何先进, 熊远清. 青藏东缘若尔盖高寒草甸中小型土壤动物群落特征及季节变化. 生态学报, 2011, 31(15): 4385-4397.

[20] 李红月. 长白山地丘陵区不同土地利用方式土壤动物的群落特征[D]. 长春: 东北师范大学, 2015.

[21] 杨效东，刘宏茂，郑征，沙丽清．砂仁种植对季节雨林土壤节肢动物群落结构影响的初步研究．生态学杂志，2003，22(4)：10-15.
[22] 刘长海．陕北枣林土壤动物群落的结构及其季节动态[D]．北京：北京林业大学，2008.
[23] 殷秀琴，宋博，董炜华，辛未冬．我国土壤动物生态地理研究进展．地理学报，2010，65(1)：91-102.
[24] 王仙攀，陈浒，熊康宁．气候干旱对贵州喀斯特高原山区土壤动物群落的影响——以石桥小流域为例．热带地理，2011，34(4)：357-361，367-367.
[25] 杨大星，杨茂发，徐进，尚小丽．马尾松人工林火烧迹地不同恢复阶段中小型土壤节肢动物多样性．生态学报，2013，33(8)：2531-2544.
[26] 王振海，殷秀琴，蒋云峰．长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性．生态学报，2014，34(3)：755-765.
[27] 吴东辉，尹文英，卜照义．松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤线虫的群落特征．生态学报，2008，28(1)：1-12.
[28] Rossi JP, Blanchart E. Seasonal and land-use induced variations of soil macrofauna composition in the Western Ghats, southern India. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 37(6): 1093-1104.
[29] 吴鹏飞，杨大星．若尔盖高寒草甸退化对中小型土壤动物群落的影响．生态学报，2011，31(13)：3745-3757.
[30] Briones M J I, Ostle N J, Mcnamara N P, Poskitt J. Functional shifts of grassland soil communities in response to soil warming. Soil Biology and Biochemistry, 2009, 41(2): 315-322.
[31] 颜绍馗，张伟东，刘燕新，傅声雷，李媛良，汪思龙．雨雪冰冻灾害干扰对杉木人工林土壤动物的影响．应用生态学报，2009，20(1)：65-70.
[32] 宋理洪，武海涛，吴东辉．我国农田生态系统土壤动物生态学研究进展．生态学杂志，2011，30(12)：2898-2906.
[33] 吴廷娟．全球变化对土壤动物多样性的影响．应用生态学报，2013，24(2)：581-588.
[34] 倪珍，闫修民，张兵，刘晶，吴东辉．我国土地利用/覆被变化对土壤动物群落多样性的影响研究进展．安徽农业科学，2013，41(35)：13787-13788，13790-13790.
[35] 刘任涛，朱凡，赵哈林．北方农牧交错区土地利用覆盖变化对大型土壤动物群落结构的影响．草地学报，2013，21(4)：643-649.
[36] 吕世海，卢欣石，高吉喜．呼伦贝尔草地风蚀沙化土壤动物对环境退化的响应．应用生态学报，2007，18(9)：2055-2060.
[37] 杨大星，杨茂发，徐进．生态恢复方式对喀斯特土壤节肢动物群落特征的影响．贵州农业科学，2013，41(2)：91-94.

